

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВОК

Д.О.Кошевой, Национальный горный университет, Украина

Выполнен анализ режимов работы стационарных установок с учетом величины продолжительности включения (ПВ), а также кратко рассмотрен вопрос, касающийся выбора интервала осреднения электрической нагрузки, получаемой в результате моделирования.

Современные стационарные установки, такие как подъемные, вентиляторные и водоотливные, являются наиболее мощными потребителями на угольных предприятиях. Суммарное электропотребление этими установками может достигать около 50%. Однако эти данные зачастую отображают электропотребление без учета такого важного фактора, как режим работы.

Режим работы подъемной установки (ПУ) характеризуется цикличностью, т.е. рядом сменяющихся циклов, следующих друг за другом. Каждый такой цикл можно разбить на четыре основных периода: разгон, равномерное движение, замедление до полной остановки и пауза. Для обеспечения требуемой производительности подъема, необходимо чтобы каждый цикл укладывался в определенное, заранее известное время. Поэтому необходимость выдерживать расчетные значения ускорения и замедления, максимальной скорости и продолжительности паузы, т.е. выдерживание принятой диаграммы скорости, является приоритетным.

Приводной двигатель подъемной установки работает в повторно-кратковременном режиме (S3), чередуя время движения с периодами пауз. Из-за того что как кинематические, так и динамические параметры, характеризующие работу подъема, изменяются в широком диапазоне за сравнительно небольшой по длительности период времени, возникают трудности при необходимости точного расчета и выбора мощности приводного двигателя.

Одним из методов расчета мощности электродвигателя шахтного подъема является метод эквивалентного момента или усилия [1]. В основе метода лежит использование величины продолжительности включения (ПВ) электродвигателя, использование которой позволяет определить мощность приводного двигателя с учетом продолжительности его рабочего цикла. В соответствии с данным методом определяется относительная продолжительность включения ПВ (для длительности рабочего цикла $T_{\text{ц}} \leq 10$ минут):

$$\text{ПВ} = \frac{\sum t_{pi}}{T_{\text{ц}}} 100\% \quad (1)$$

где t_{pi} – время работы при i -ой нагрузке за время цикла $T_{\text{ц}}$.

Далее определяются приведенные к ближайшему стандартному значению $\text{ПВ}_{\text{ст}}=15, 25, 40, 60 \%$ эквивалентные величины мощности $P_{\text{экр}}$ и момента $M_{\text{экр}}$:

$$P_{\text{экр}} = \sqrt{\frac{\text{ПВ} \sum P_i^2 t_{pi}}{\text{ПВ}_{\text{ст}} \sum t_{pi}}} \quad (2)$$

$$M_{\text{экр}} = \sqrt{\frac{\text{ПВ} \sum M_i^2 t_{pi}}{\text{ПВ}_{\text{ст}} \sum t_{pi}}} \quad (3)$$

где P_i, M_i – значения мощности и момента в i -й момент времени.

При этом должны выполняться условия: $P_{\text{экр.ПВст}} \leq P_{\text{ном.ПВст}}$; $M_{\text{экр.ПВст}} \leq M_{\text{ном.ПВст}}$, где $P_{\text{ном.ПВст}}, M_{\text{ном.ПВст}}$ – номинальные значения мощности и момента, которые соответствуют $\text{ПВ}_{\text{ст}}$ определяются выражением:

$$P_{\text{ном.ПВст}} = P_{\text{ном}} \sqrt{\text{ПВ} / \text{ПВ}_{\text{ст}}} \quad (4)$$

$$M_{\text{ном.ПВст}} = M_{\text{ном}} \sqrt{\text{ПВ} / \text{ПВ}_{\text{ст}}} \quad (5)$$

Поскольку наибольшее значение $PB_{см}$ может достигать 60%, а реально получаемые значения ПВ будут в диапазоне 60 – 90%, возникает вопрос о необходимости учета данного параметра при определении мощности электродвигателя подъемной установки. Для более точного и окончательного ответа, более правильным будет определение значений ПВ для подъемных установок на разных шахтах и на основании полученных статистических данных делать выводы о необходимости учета ПВ в расчетах мощности привода подъемных установок. Анализ полученных значений ПВ необходимо проводить отдельно для скиповых и клетевых подъемных установок ввиду различия их рабочих циклов.

В соответствии с [2-4], значения мощности будут определены на основе равнозначных выражений:

$$N_{\text{кв}} = \frac{F_{\text{кв}} V_{\text{max}}}{1000 \eta_n} \quad (6)$$

$$N_{\text{зв}} = \frac{M_{\text{зв}} \omega_{\text{max}}}{1000 \eta_n} \quad (7)$$

$$N_{\text{зф}} = \frac{F_{\text{зф}} V_{\text{max}}}{102 \eta_n} \quad (8)$$

где V_{max} – максимальная скорость движения подъемного сосуда, регламентируемая по ПВ, м/с; ω_{max} – максимальная угловая скорость, с^{-1} ; η_n – КПД зубчатой передачи. Для одноступенчатых редукторов – $\eta = 0,98$; для двухступенчатых редукторов – $\eta = 0,97$; для одноступенчатой зубчатой передачи – $\eta = 0,97$; для двухступенчатой зубчатой передачи – $\eta = 0,95$.

Расчет эквивалентного (эффективного) момента или усилия требует построения нагрузочной диаграммы моментов (усилий) для одного полного цикла подъема. Построение такой диаграммы требует специальных расчетов. Однако для выбора системы электропривода определение мощности подъемного электродвигателя можно выполнять по другим расчетным выражениям. Так в источниках [5-7] мощность привода подъемной установки определяется на основе выражений:

$$P_{\text{дв}} = \frac{\rho k_{\text{дв}} Q_{\text{п}} H}{102 T_n \eta_p} \quad (9)$$

- для вертикальных двухконцевых установок:

$$P_{\text{дв}} = \frac{\xi k m_{\text{с}} g V_{\text{max}}}{1000 \eta_p} \quad (10)$$

$$P_{\text{дв}} = 10^{-3} \rho \frac{g Q_{\text{п}} H}{T_n} \quad (11)$$

- для вертикальных двухконцевых установок с противовесом:

$$P_{\text{дв}} = \frac{\xi (k - 0,5) m_{\text{с}} g V_{\text{max}}}{1000 \eta_p} \quad (12)$$

$$P_{\text{дв}} = 10^{-3} 0,5 \rho \frac{g Q_{\text{п}} H}{T_n} \quad (13)$$

где ρ (ξ) – коэффициент динамического режима, принимается равным 1,15-1,4; k ($k_{\text{св}}$) – коэффициент шахтных сопротивлений (для скиповых подъемов $k=1,15$, для клетевых подъемов $k=1,2$); $Q_{\text{п}}$ ($Q_{\text{н}}$, $m_{\text{с}}$) – масса полезного груза в подъемном сосуда, кг; T_n – полный период подъема, с; H – высота подъема, м; η_p – КПД редуктора ($\eta_p=0,94-0,97$).

Анализ этих выражения, показывает имеющиеся недостатки. Например, одним из таких недостатков можно назвать то, что в расчетных зависимостях учитывается только величина полезного груза в подъемном сосуда, без учета массы самого сосуда. Так же можно заметить, что выражения (10) и (12) не учитывают время полного подъема T_n .

Несмотря на разнообразие расчетных зависимостей для определения мощности привода, основной проблемой осталось то, что нет единого общепринятого метода, на основе которого можно было бы определять необходимую мощность приводного двигателя подъемной установки.

Рассматривая водоотливные установки, можно говорить о том, что они, характеризуются свободными циклическими графиками работы т.к. приток воды в течение, как времени эксплуатации шахты, так и времени каждого года, месяца – величины переменные со значительным диапазоном изменений.

Режим работы главной водоотливной установки (ГВУ) – длительный (S1), нагрузка на двигатель постоянная, т.е. ПВ=100%. При определении мощности электродвигателя водоотливной установки опираются на величину статической нагрузки на валу механизма. Значения и характер статической нагрузки насосов определяется силами, действующими на их рабочий орган, природа возникновения которых сложна и зависит от конструктивных особенностей машины. Требуемая мощность двигателя обычно находится по приближенным формулам. Так в [2, 4, 5-8] мощность привода главной водоотливной установки определяется на основе подобных расчетных зависимостей:

$$P_{вот} = 1,1 \frac{\rho Q_{вот} H_{вот}}{3600 \cdot 100 \eta_{вот}} \quad (14)$$

$$P_{вот} = 1,1 \frac{\rho g Q_{вот} H_{вот}}{3600 \cdot 100 \eta_{вот}} \quad (15)$$

$$P_{вот} = \frac{k_z \rho Q_{вот} H_{вот}}{3600 \eta_{вот}} \quad (16)$$

$$P_{вот} = (1,1 + 1,15) 10^{-6} \frac{\rho g Q_{вот} H_{вот}}{3,6 \eta_{вот}} \quad (17)$$

где k_z – коэффициент запаса мощности двигателя (равен 1,2-1,3 при подаче до 160 м³/ч; 1,1-1,15 при подаче более 160 м³/ч); ρ ($\gamma_{ж}$) – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³; Q_n ($Q_{раб}$, Q_d), H_n ($H_{раб}$, H_d) – подача и напор (с учетом потерь), м³/ч и м; η_n – КПД насоса.

Вентиляторы главного проветривания (ВПП), так же как и ГВУ, относятся к электроприемникам с длительным режимом работы (S1). Поэтому для определения мощности электродвигателя вентилятора необходимо знать не только подачу, которая определяется требуемым количеством воздуха для нормального проветривания шахты из условия добычи полезного ископаемого, численности рабочих, выделения метана и др., но также и давление, которое представляет собой сумму давлений последовательно соединенных различных выработок и зависящих от длины, периметра, поперечного сечения последних и других факторов.

Опираясь на расчетные зависимости, приведенные в [1, 4, 5, 8] мощность приводного двигателя вентиляторной установки определяется:

$$P_{вент} = \frac{Q H}{\eta_{вент} \eta_{сети}} 10^{-3} \quad (18)$$

$$N_{min} = \frac{Q_2 h_{min}}{1000 \eta_2} \quad N_{max} = \frac{Q_2 h_{max}}{1000 \eta_2} \quad (19)$$

$$P_{дв} = \frac{k_z Q_p}{\eta_2 \eta_n} \quad (20)$$

$$N_{д} = R \frac{Q_2 H_2 \rho g}{1000 \eta_n \eta_2} \quad (21)$$

где k_z (R) – коэффициент запаса; Q (Q_v , Q_c , Q_p) – подача вентилятора, м³/ч; p – статическое давление вентилятора, Па; η_v ($\eta_{вент}$) – КПД вентилятора; η_c ($\eta_{сети}$) – КПД сети; h_{min} , h_{max} – минимальная и максимальная депрессия.

Проанализированные выше расчетные зависимости показывают, что в их основе заложено использование одних и тех же параметров, таких как производительность Q и давление p вентилятора.

Согласно источнику [9], длительность интервала осреднения графиков нагрузки T условно принимается равной 30 мин., основываясь на том, что $T=3T_0$, где $T_0=10$ мин. – величина постоянной нагрева проводника. Это обосновано в [10], но только для неизменного во времени графика электрической нагрузки. Так, использование 30-минутного интервала осреднения приемлемо для водоотливных и вентиляторных установок, ввиду неизменности их режима работы, который как было рассмотрено ранее, длительный. Для подъемных установок ситуация несколько иная. Из-за того, что длительность цикла подъема несоизмерима с 30-минутным интервалом осреднения, т.е. $T_{ц} < T$, и с учетом того, что возможны технологические простои, 30-минутная длительность интервала не является корректной для осреднения графиков электрических нагрузок подъемных установок, получаемых в результате моделирования.

Выводы:

1) Режим работы стационарных установок определяется на основе величин продолжительности включения. Так, ВГП и ГВУ работают в длительном режиме – S1, для которого $PB=100\%$, ПУ работает в повторно-кратковременном режиме – S3, для которого $PB_{см}=15, 25, 40, 60\%$. Однако на практике выходит, что $PB_{факт} > PB_{см}$, что говорит о необходимости использования данного параметра при определении мощности электропривода подъемных установок.

2) При расчете мощности приводного двигателя стационарной установки, необходимо учитывать как режим работы, так и другие факторы, в зависимости от типа установки. Например, для ПУ, мощность привода зависит от грузоподъемности подъемного сосуда и полного времени подъема, для ГВУ – от подачи и напора, для ВГП – от подачи вентилятора и депрессии сети.

3) Общепринятая длительность интервала осреднения графиков нагрузки T условно принятая 30 минут в контексте решаемых задач, может быть использована не для каждой стационарной установки. Она может быть использована для осреднения графиков нагрузки ВГП и ГВУ из-за практической неизменности во времени осредняемых нагрузок за полученный интервал. Для ПУ интервал осреднения должен устанавливаться с учетом технологического режима работы установки.

Список литературы

1. Автоматизированный электропривод машин і установок шахт і рудників: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / К.М. Маренич, Ю.В. Товстюк, В.В. Турупалов та ін. – Донецьк: ДВНЗ «Дон НТУ», 2012. – 245 с.
2. Стационарные установки шахт. Под общей ред. Б.Ф. Братченко. – Москва, «Недра», 1977. – 440 с.
3. Соловьев В.С. Шахтные подъемные установки: Учеб. пособие / В.С.Соловьев. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). - СПб, 2006. 82 с. - ISBN 5-94211-277-0.
4. Дроздова Л.Г. Стационарные машины: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 157 с.
5. Электрификация стационарных установок шахт: Справочное пособ. / С.А. Волотковский, Д.К. Крюков, Ю.Т. Разумный и др. Под общей редакцией Г.Г. Пивняка – М.: 1990. – 399 с.: ил. – ISBN 5-247-01119-8.
6. Сиротин С.С. Шахтные подъемные установки: Учебное пособие / С.С. Сиротин - Алчевск.: ДГМИ, 1997. - 174 с.
7. Гришко А.П., Шелоганов В.И. Стационарные машины и установки: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 328 с. – ISBN 5-7418-0299-0.
8. Алексеев В.В. Стационарные машины: Учебник для ВУЗов / В.В. Алексеев – Москва.: Недра, 1989. – 416 с.: ил. – ISBN 5-247-01013-2.
9. Временная инструкция по расчету электрических нагрузок. Тяжпроэлектропроект. Инструктивные указания №6, 1968. – 17 с.
10. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волобинский, Г.М. Каялов, П.Н. Клейн, Б.С. Мешель – Львов, «Энергия», 1971. – 264 с.